

H&V シールド工法における発進坑口部の出水対策

Water leakage countermeasures at launching shaft entrance of double circular shield

今泉 宏太*

三俣 和彦*

Kouta Imaizumi

Kazuhiko Mitsumata

金子 守利*

Moritoshi Kaneko

要 約

本工事は、北区赤羽駅西側地区の雨水排除能力を増強する目的として、2つの主要枝線をシールド工法にて施工するものである。上機 $\phi 3,340$ mmと下機 $\phi 2,890$ mmで構成された縦2連分岐型H&Vシールド機を用いて、泥水式シールド工法にて同時に発進し、仕上り内径 $\phi 2,800$ mm、 $\phi 2,400$ mmの雨水管渠を同時に築造する。

H&Vシールド工法は、本件で8例目の施工であるが、発進時における出水対策は確立されていない。このため、発進時における出水対策を検討、計画する必要があった。

目 次

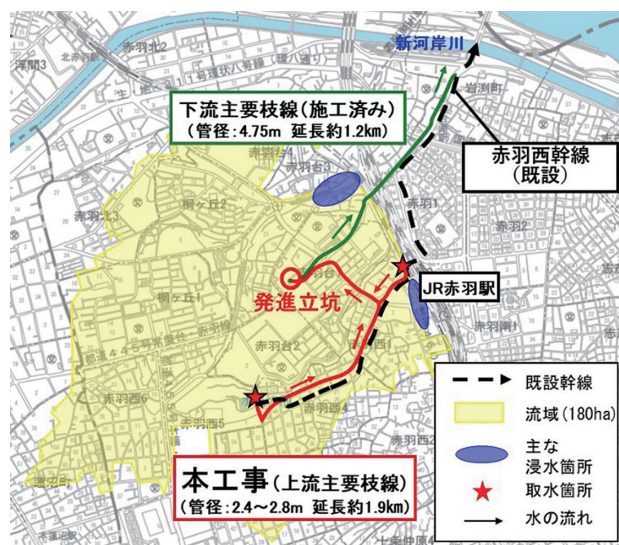
- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. シールド発進坑口の課題
- § 4. 坑口出水対策と工夫
- § 5. 成果およびまとめ

§ 1. はじめに

東京都下水道局では「経営計画 2016」を策定し、浸水対策として、おおむね30年後の浸水被害解消を目標に、区部で50 mm/h降雨に対応する下水道施設の整備を進めている。特に主要幹線が浅く埋設された流域など15地区を重点地区として位置付けている。

その中でJR赤羽駅の西側に位置する北区赤羽台地区は、高台部の雨水を既設主要幹線（赤羽西幹線）に集め、自然流下により新河岸川へ排水している流域である。当該流域は、大雨時に赤羽西幹線内の水位が上昇することにより、雨水が幹線に流れ込みにくくなり、低地部での浸水が発生している状況にある¹⁾。

このため、本工事は、新たな管きょ（上流主要枝線）をH&Vシールド工法により築造し、既設幹線である赤羽西幹線の水位を下げることで50 mm/h降雨に対し、浸水被害を低減することを目的としている。



図一 事業概要図

§ 2. 工事概要

表一 工事概要

工事件名	北区赤羽台一丁目、赤羽西四丁目付近枝線工事
発注者	東京都下水道局
施工者	西松建設株式会社 関東土木支社
工事場所	東京都北区赤羽台一、二丁目、赤羽西一、四丁目
工期	2018年9月25日～2022年7月19日（延伸予定）
工事内容	管きょ工（縦2連分岐型H&Vシールド工法（泥水式）） 3-3路線施工L=634.0 m、仕上り内径 $\phi 2,800$ mm 2-2路線施工延L=1,138.5 m、仕上り内径 $\phi 2,400$ mm 上記のうち併設（H&V）区間L=461.1 m 立坑 到達立坑1箇所 他

* 関東土木（支）赤羽台（出）

2-1 縦2連分岐型シールド機

本工事で使用しているシールド機の概要および仕様を表-2、写真-1、図-2に示す。縦2連分岐型泥水シールドは、上段シールド機と下段シールド機の前胴・後胴を接合ピンおよびスペーサーで連結している。

H&V 区間（縦2連区間）のセグメントについて、それぞれ単独構造であり、一般部は二次覆工一体型のコンクリート中詰め鋼製セグメント、急曲線部は鋼製セグメントを使用する。上下段のセグメント間の離隔は200 mmである。

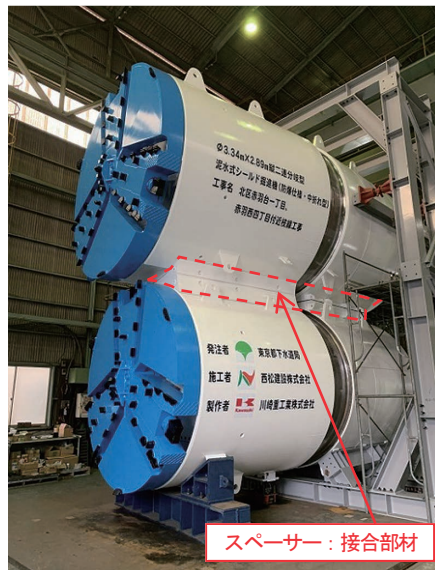


写真-1 縦2連分岐型 H & V シールド機

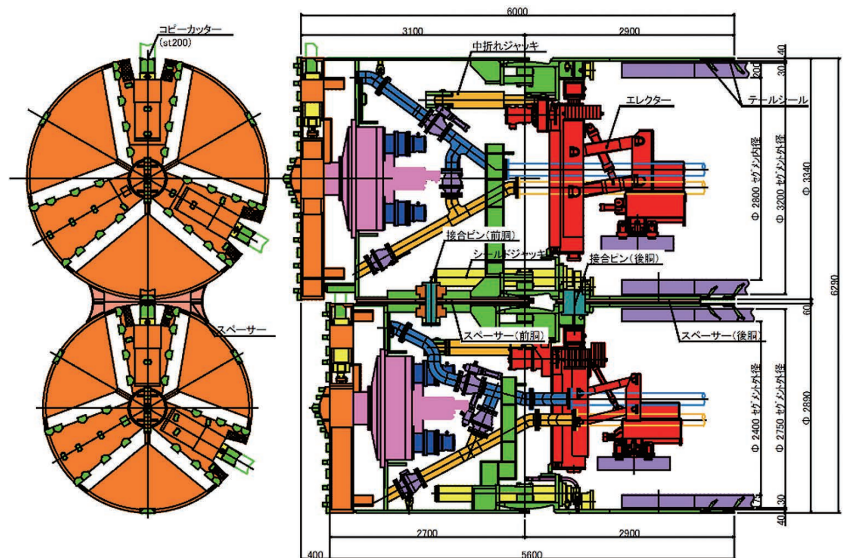


図-2 シールド機概要図

2-2 発進部における地質条件

本路線の発進部における地質概要を図-3に示す。土被りは約25.2 mで、地下水位はGL-12.4 m付近である。上段シールドの掘削対象土質は、N値20～45の砂質土で、透水係数は、 10^{-5} m/sのオーダーを示している。また、均等係数が2.0と小さい値を示しており、逸泥等により泥膜が十分に形成されない危険性がある。一方で、下段シールドは、N値10以下のシルト層と下半にN値50以上の砂礫層で構成される。

§3. シールド発進坑口の課題

3-1 H&V シールド機貫入後の出水リスク

上下段のシールド機は、接合ピンおよびスペーサーで接続している。シールド機の断面は一体化した「ひょうたん型」であるが、セグメントは、それぞれ独立した単円のためシールド機坑口貫入後、上下段セグメント間に隙間が発生する（図-4、写真-2）。この隙間から、貫入後においては、地下水や土砂等が出水するため、泥水による切羽圧の保持が不可能となる。このため、セグメント間に発生する隙間について止水対策する必要があった。

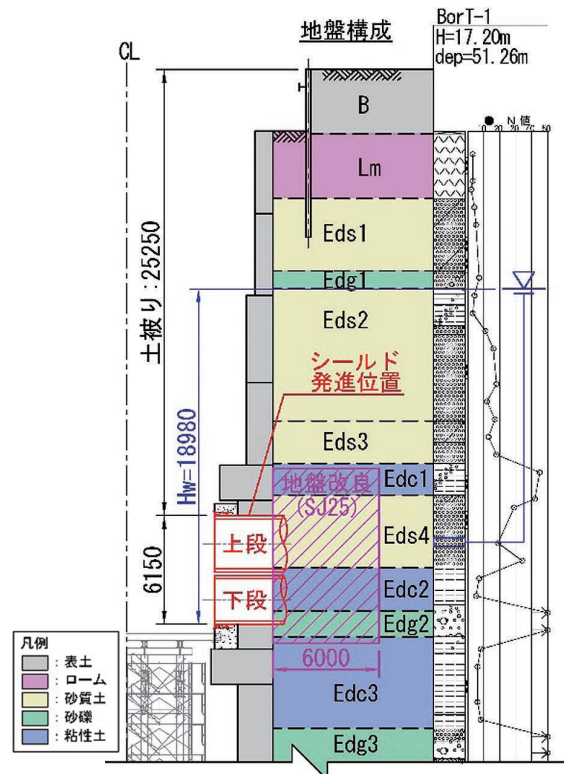
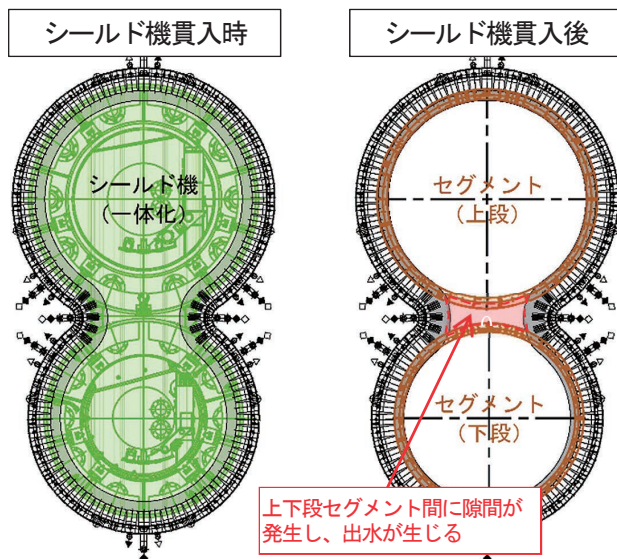


図-3 地質概要（発進部）



図一四 シールド機貫入後の出水リスク

3-2 従来工法の概要および本工事への適用課題

従来 H&V シールド工法の発進時における出水対策として、親子エントランス押込み方式や一体型セグメント押込み方式などが開発されている。

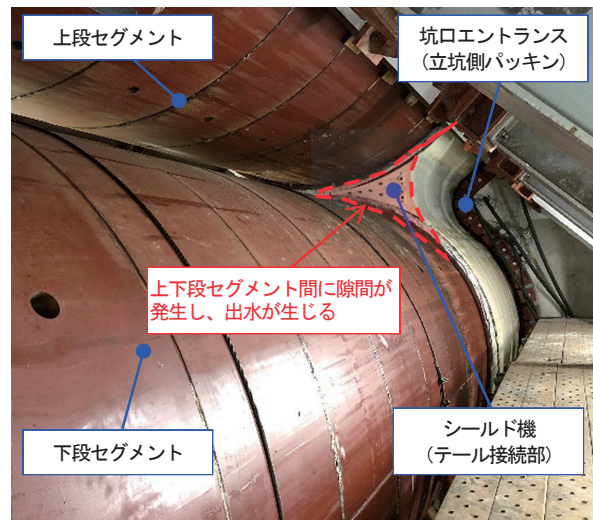
親子エントランス押込み方式は、シールド機の貫入時に親エントランスが止水し、セグメント貫入時に子エントランスが止水する分割した構造となっている。子エントランスはシールド機の進行に合わせ前移動させ、親エントランス内の所定の位置で止水シールを作動させ固定および止水するものである。親子それぞれに止水シールを装備したエントランス構造となっている（図一五）。子エントランスはシールド機鋼殻の厚みとテールクリアランスの厚さ内（シールド機外径とセグメント外径の差）に止水シールを装備する。本工事では、この厚さが 70 mm しかないため、子エントランス本体の剛性が弱く、製作および組立て時における真円度の確保が困難であった。

また、最終的に坑口コンクリートから立坑内面側に突出した子エントランスを撤去する際に出水の可能性が生じることから本工事には適さないと判断した。

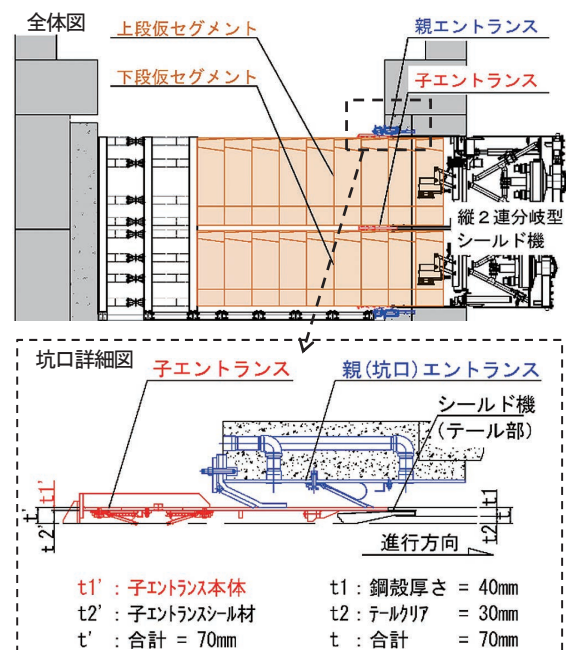
一体型セグメント押込み方式は、2 連一体化セグメントを事前にシールド機後方に設置し、立坑内に装備した移動式バックアンカー設備を用いて一体型セグメントを押し、シールド機を推進させる方式である。エントランス内の所定の位置に一体型セグメントが収まったところで、通常のシールドジャッキを用いた掘進に切替える工法で、一体型セグメントを使用することで、上下の接合部の止水を可能としている（図一六）。

当現場では、発進立坑寸法が小さく大掛かりな推進設備を設置することが困難であった。

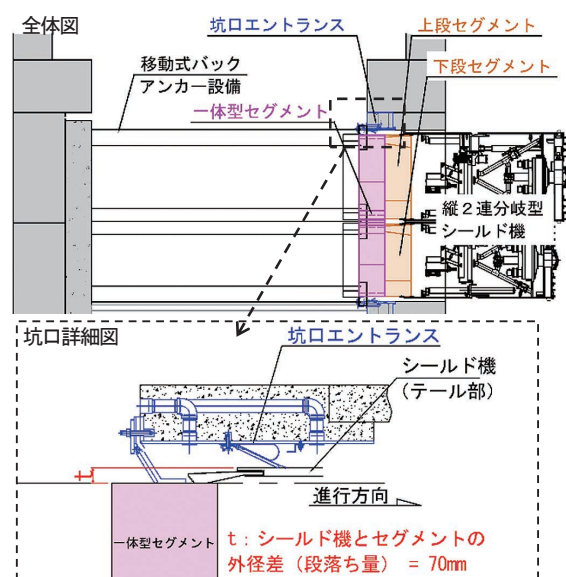
また、シールド機からセグメントへの止水シールによる段落ち量（シールド機外径とセグメント外径との差）が大きく出水のリスクが懸念された。



写真一 シールド機貫入後の出水リスク



図一五 親子エントランス押込み方式



図一六 一体型セグメント押込み方式

§ 4. 坑口出水対策と工夫

4-1 対策

H&V シールド工法のシールド発進時における出水対策として、上記の課題を鑑み、写真-3 に示す止水部材（被せ模擬セグメント）を押込む方式を考案し採用した。

本方式は、シールド機とほぼ同形状の上下段一体化した止水部材（被せ模擬セグメント）をセグメントに被せ、シールド機の進行に合わせ押込み、止水部材をエントランス内の所定の位置に残置して止水する方式である（図-7）。

本方式の特徴として、止水部材はシールド機と外径および形状がほぼ同一でありシールド機からの段落ち量が15mmと少ないため（表-3）、坑口パッキンの追従性が良く、確実な止水が可能である。

2つ目に、止水部材はシール材を装備していないため、部材厚さが確保でき、親子エントランス押込み方式に比べ剛性が高く止水部材組み立て時において真円度が確保できる。

3つ目に、立坑内面に突出することなく、本設セグメントと止水溶接が可能である。

表-3 部材寸法表

項目	外径	内径	シールド機との外径差 (段落ち量)
上段シールド			
シールド機	Φ3,340mm	Φ3,260mm	—
止水部材	Φ3,310mm	Φ3,210mm	15mm
セグメント	Φ3,200mm	Φ2,800mm	70mm
下段シールド			
シールド機	Φ2,890mm	Φ2,810mm	—
止水部材	Φ2,860mm	Φ2,760mm	15mm
セグメント	Φ2,750mm	Φ2,400mm	70mm

4-2 施工手順

本工事の坑口は、坑口パッキンを2段配置したエントランス装置であり、1段目（立坑側）の坑口パッキンはA-Typeで上下シールド機の接合部のみチューブの併用、2段目（地山側）の坑口パッキンは、C-Typeとチューブの併用型を採用した。

施工手順図を図-8に、STEP 毎の説明を以下に示す。

- Step ① シールド機貫入（2リング st 840 mm）
坑口パッキンが2段（坑口側、地山側）ともシールド機テール部に掛かっている状態までシールド機を貫入させる。
- Step ② 止水部材組立
坑口パッキンが2段とも掛かり、止水性が高い状態で、シールド機の後方で止水部材を組み立てる。同時に次工程にて止水部材をエントランス内に押込むために、仮セグメントに油圧ジャッキおよびジャッキ反力部材を取り付ける。
- Step ③ シールド機貫入（2リング st 1,300 mm）
2段目（地山側）のみの坑口パッキンがシールド機に掛かっている状態までシールド機を貫入し、シー

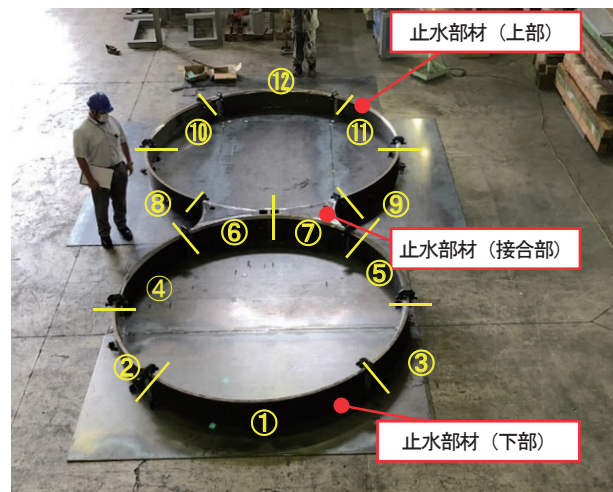


写真-3 止水部材（被せ模擬セグメント）

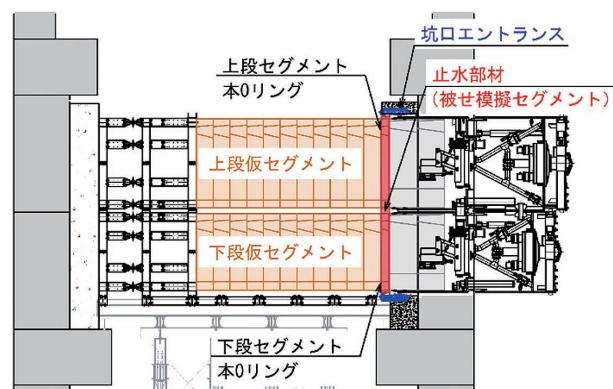


図-7 止水部材押込み方式概要図

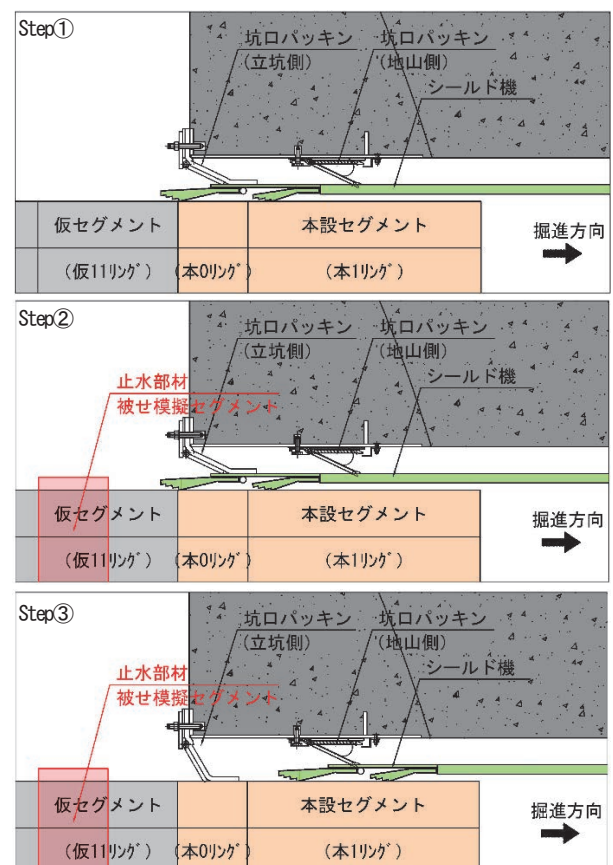


図-8 施工手順図（Step ①～③）

ルド機を一時停止させる。

(4) Step ④ 止水部材押込み

仮セグメントに取付けた油圧ジャッキで止水部材を立坑側坑口パッキンに掛かる位置まで押込み、セグメント（本0リング）と止水部材間を溶接固定し止水する。

4-3 工夫

止水部材押し込み方式を確立するにあたり、狭隘な立坑内に2連の仮組セグメントが筒状に設置している状態で、止水部材を後施工する必要がある。くわえて、仮セグメントの組立誤差に対応し、止水部材を組立て、エントランス内の所定位置に円滑に押込むことを目的に以下の工夫を施した。

(1) 段落ちにおける工夫

- ① 止水部材幅の検討として、2段目（地山側）パッキンがシールド機に掛かっている状態で押し込みが可能となる様、止水部材の幅（押し込み量）を300mmで計画した。
- ② 本シールド機および坑口パッキンの形状は「ひょうたん型」であり、上下接合部のパッキン形状が逆Rとなり、坑口パッキンの反発力による面圧が小さくなり、この部分から出水するリスクが大きい。このため、シールド機および止水部材の上下接合部にエポキシ樹脂による充填を実施し坑口パッキンの追従性向上を図った（写真-4）。

(2) 仮組セグメント組立誤差、変形に対応して止水部材を組立てる工夫

- ① 止水部材を12分割構造とし（最大ピース重量を200kg程度）、部材あたりの重量を軽量化することで狭隘な立坑内での作業を可能とし施工性を向上させた（写真-3）。
- ② 分割接合部は接手長を調整可能な特殊継手構造とし、接合方法は溶接固定にすることで、上下それぞれの仮組セグメントの組立誤差や変形を吸収できる固定方法を採用した（図-9）。
- ③ 上下の接合部は、左右2分割のボルト接合方式を採用した（図-10、写真-5）。なお、2分割面にシール材やスキムプレート等を設置して目開き量を調整することで、セグメントの組立誤差や上下のセグメントの離隔誤差に対応できる構造とした。

(3) 仮組セグメント組立誤差、変形に対応して止水部材を円滑に押込む工夫

- ① 止水部材寸法の検討として、止水性および施工性（押し込み易さ）の双方を考慮し、止水部材内径とセグメント外径とのクリアランスを5mmとして計画した。なお、5mmのクリアランスが水みちとなるため、止

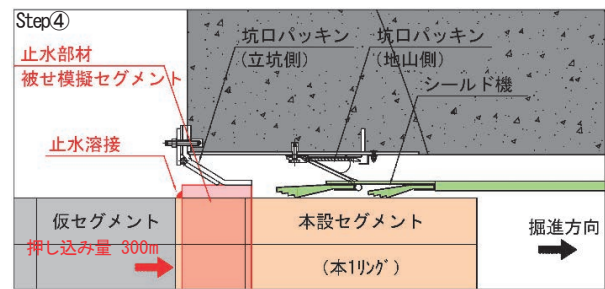


図-8 施工手順図 (Step ④)



写真-4 エポキシ樹脂による平滑化
(左：シールド機、右：止水部材)

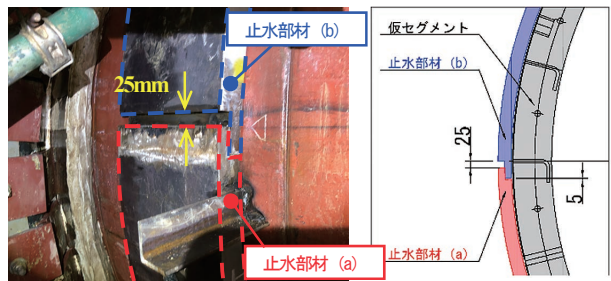


図-9 凹凸重ね継手構造

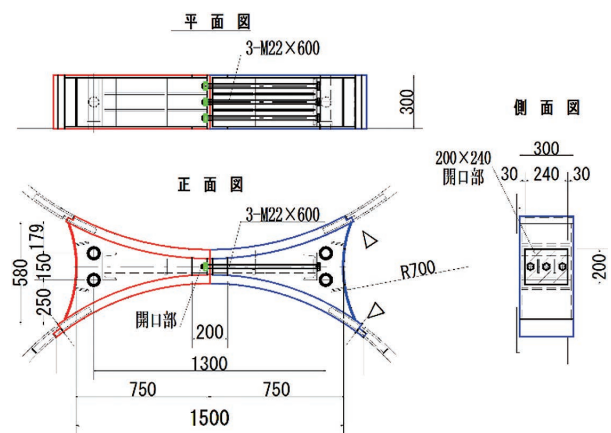


図-10 止水部材（スペーサー部）詳細図

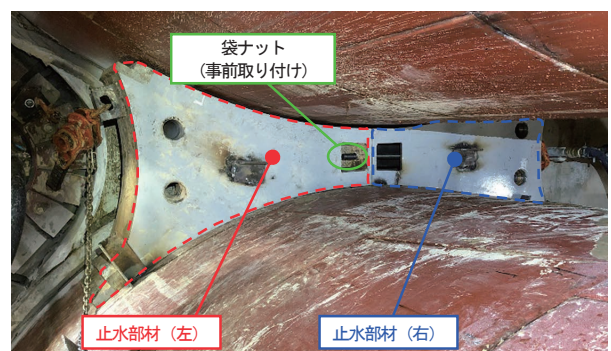


写真-5 左右2分割構造（スペーサー部）

止水部材押し込み前にブチル系ゴムシーラーを充填し、一時的な止水対策とした（写真—6）。

- ② 4—2(3)の通り、2段目（地山側）のみの坑口パッキンがシールド機に掛かっている状態で止水部材を迅速に押し込む必要がある。前施工している仮組セグメントの目違いや組立誤差による影響を低減するために止水部材内周面の前端部を15mmの面取りし、円滑に止水部材を所定の位置まで押し込む計画とした（図—11）。

(4) 発進防護における工夫

- ① 発進防護である高圧噴射攪拌工（SuperJet）の範囲を設計の3.1mから6.0mに変更することで、改良体内（改良体厚さ2.7mを残した状態）で止水部材の組立および押し込み作業を実施できるよう計画した（図—12）。

§ 5. 成果およびまとめ

5—1 シールド機貫入時の出水対策の成果

シールド機が坑口貫入時に出水する場合の対策において、先述した工夫（4—3(1)②）によるシールド機上下接合部にエポキシ樹脂による充填を実施した結果、坑口パッキンの追従性が向上し、大きな出水がなく計画通りの切羽水圧を保持した状態で貫入することができた。一時的に泥水の加圧によりシールド機接合部と充填したエポキシ樹脂との縁が切れ、微量ながら泥水が立坑内へ漏出した（写真—7）。シールド機鋼殻とエポキシ樹脂との付着力を向上させる必要があり、材料の選定及び充填方法については、今後への課題と考える。

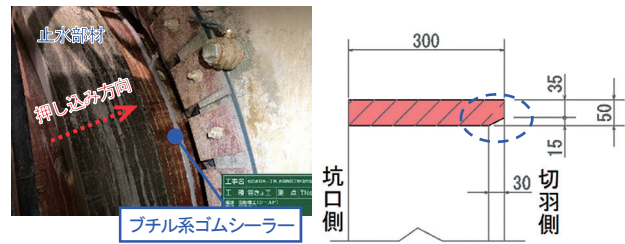
5—2 シールド機貫入後の出水対策の成果

坑口貫入後に出水する場合の対策において、先述した工夫（4—3(2)）により、狭隘かつ上下段の仮セグメント組立後に止水部材を円滑に設置できた。また、止水部材押し込みについては、工夫（4—3(3)）により止水部材と仮セグメント間の競りや干渉による押し込み不能を回避できた。

一方で止水部材の最終位置となるセグメントの真円度は、最大で4mmの差が生じて、上下間のセグメント離隔（設計200mm）は、202mm～205mmの誤差が生じた。これにより止水部材（被せ模擬セグメント）内径と仮セグメント外径間に最大で10mm程度（計画5mm）の隙間が生じ、一部止水鉄板を追加し止水溶接を実施した（写真—8）。

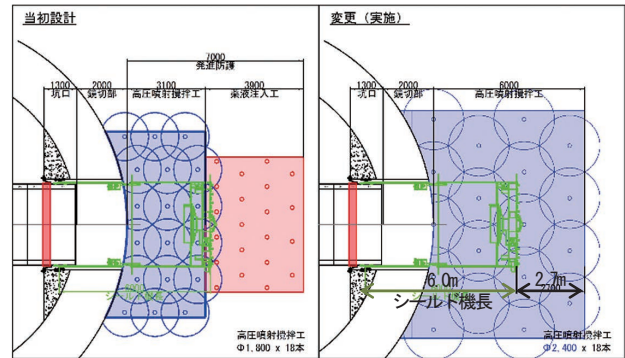
5—3 出水対策の成果

図—13にシールド機発進時における切羽水圧の変動を示す。仮9リング～2リングのジャッキストローク（以降、st）840mmまでの掘進区間において、設定切羽水圧



写真—6 一時止水対策
（ブチル系ゴムシーラー）

図—11 止水部材断面図

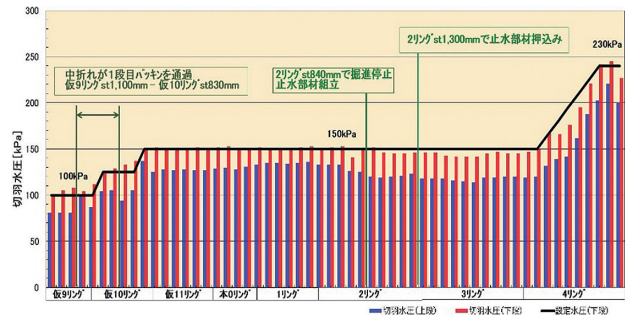


図—12 地盤改良（発進防護）図



写真—7 縁切れによる泥水漏出

写真—8 追加止水部材



図—13 発進時における切羽水圧の変動

に併せて、実測値も変動（増加）している。また、2リングst840mm（止水部材組立）～st1,300mm（止水部材押し込み）においても切羽水圧が設定値の150kPaで保持できている。くわえて、止水部材押し込み・止水溶接後についても設定値通りに切羽水圧が変動（増加）していることから、本方式の有効性が確認できた。施工日数は、止水部材組立作業に3方、止水部材押し込みおよび止水溶接に2方を要し、計画通りの工程で施工ができた。

5—4 まとめ

H&V シールド工法の課題であった発進時の出水対策

について、初の試みである止水部材（被せ模擬セグメント）押し込み方式を開発した。

多くの課題点や問題点があったが、シールド機貫入時および貫入後において、過度な出水もなく無事に発進することができた。最後に、本工事の計画・施工にあたりご指導、ご協力して頂いた関係者各位に厚く御礼申し上げます。本稿が今後の工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 2連シールドトンネルによる浸水対策施設の整備について 東京都下水道局技術調査年報-2019- Vol. 43



写真一10 坑口全景